



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# ESD–SUOJAUKSEN KEHITTÄMISSUUNNITELMA

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Tietotekniikka  
Tietokone-elektroniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2013  
Henna Kelkka

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietokone-elektroniikka

KELKKA, HENNA:

ESD-suojauksen kehittämissuunnitelma

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 24 sivua

Syksy 2013

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä ESD-suojauksen kehittämissuunnitelma Elektropoint Oy:lle, joka sijaitsee Hollolassa. Nykypäivän elektroniikan kehittymisen myötä komponenttien koko on pienentynyt paljon ja siitä johtuen ne ovat herkempiä staattisen sähkövarauksen aiheuttamille vaurioille.

ESD-suojauksella tarkoitetaan komponentin suojausta staattisen sähkövarauksen purkauksen aiheuttamia vaurioita vastaan. Tässä työssä ei kuitenkaan käsitellä komponenttien suojausta piirilevytasolla vaan perehdytään suojaukseen laitteiden valmistusvaiheessa. Henkilösuojaus on yksi tärkeimmistä suojausmenetelmistä staattisen sähkövarauksen syntymistä vastaan. Staattisen sähkövarauksen purkaus voi aiheuttaa komponenteille monenlaisia vaurioita. Useimmat näistä eivät välttämättä ilmene heti vaan pidemmän ajan kuluessa, jolloin vian aiheuttajan selvittäminen voi olla vaikeaa.

Opinnäytetyössä käsitellään ensin staattista sähkövarausta ilmiönä ja perehdytään siihen teoreettisesti. Varsinaista työtä ei ole liitetty tähän opinnäytetyöhön, koska se sisältää salassa pidettävää tietoa.

Asiasanat: ESD, EPA, suojamaadoitus, suojaus

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information Technology

KELKKA, HENNA:

Developing an ESD protection plan

Bachelor's Thesis in computer electronics, 24 pages

Autumn 2013

## ABSTRACT

---

The objective of this thesis was developing an ESD protection plan. The work was made for Electropoint Oy, a Hollola-based company. Present day electronics have developed a lot and hence the components have become smaller, which means that they can be damaged more easily by ESD discharge.

ESD protection means protecting a component against electrostatic discharge. This thesis does not deal with component protection at the printed circuit board level. Personal protection is one of the most important means of protection against electrostatic charge. Electrostatic discharge can cause many kinds of damage to the components. Most of the damage may not be apparent immediately, but over time, the cause of fault detection can be difficult.

First this report deals with the electrostatic discharge phenomenon and focuses on theory. The actual work is not attached to this thesis, because it contains material that is considered company secrets.

Key words: ESD, EPA, grounding, protection

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	STAATTINEN SÄHKÖ ILMIÖNÄ	2
2.1	Sähkövaraus	3
2.2	Varauksen siirtyminen	4
2.2.1	Kosketusvarautuminen	4
2.2.2	Indusoituminen	5
2.2.3	Ionisoituminen	5
3	STAATTISEN SÄHKÖVARAUKSEN PURKAUTUMINEN	6
3.1	Purkausmekanismit	6
3.2	Purkausmallit	6
3.2.1	HBM-malli	6
3.2.2	MM-sijaiskytkentä	8
3.2.3	CDM-malli	9
4	KOMPONENTTIEN TYYPILLISIMMÄT VIKAANTUMISMEKANISMIT	10
4.1	Läpilyönti substraatin kautta (Bulk breakdown)	11
4.2	Läpilyönti suuren virrantiheyden ja lämpötilan vuoksi (Thermal secondary breakdown)	11
4.3	Pintaläpilyönti ja läpilyönti eristeessä	12
5	ESD-SUOJAUS	13
5.1	Staattisilta sähköpurkauksilta suojattu alue (EPA)	13
5.1.1	EPA-maadoitus	14
5.1.2	Lattiapinnat	15
5.1.3	Tuolit, työskentelypinnat ja varastointi	16
5.1.4	Pakkausmateriaalit	18
5.1.5	Henkilösuojaus	19
5.1.6	Työkalut ja toimistotarvikkeet	21
5.1.7	Mittaukset ja testaus	21
6	ESD-HALLINTAOHJELMA	23
7	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET	25

## LYHENNELUETTELO

CDM	Charged device model, purkaus varautuneen laitteen ja komponentin välillä
EPA	ESD Protected Area, staattisen sähkövarauksen purkausta vastaan suunniteltu alue
ESD	Electrostatic Discharge, staattisen sähkövarauksen purkaus
HBM	Human Body Model, purkaus ihmiskehosta laitteeseen
MM	Machine Model, purkaus ulkoisen lähteen ja komponentin tai laitteen välillä

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Elektropoint Oy:lle, jonka toimipiste sijaitsee Hollolassa. Yritys on vuonna 1997 perustettu elektroniikan sopimusvalmistaja, jonka erikoisosaamista ovat sähkö- ja elektronisten laitteiden pienet ja keskisuuret sarjat sekä johdinsarjat. Sen toimipisteet sijaitsevat Kuopiossa ja Hollolassa.

Sähköstaattisen purkauksen aiheuttamat vauriot ovat yksi suurimmista uhkista tämän päivän elektroniikassa. Laitteiden koon pienentyessä myös piirilevyjen koko pienenee. Komponentit joudutaan latomaan tiiviimmin, jolloin komponenttien rikkoutuminen sähköstaattisen purkauksen johdosta kasvaa.

ESD-suojaukseen käsiteltiin opintojen aikana hyvin pintapuolisesti. Tässä työssä käsitellään staattista sähkövarausta ensin teoreettisesti ja sen jälkeen perehdytään suojaukseen käytännön vaatimusten mukaan.

## 2 STAATTINEN SÄHKÖ ILMIÖNÄ

Staattista sähköä on esiintynyt luonnossa aina, mutta ilmiönä sitä on opittu ymmärtämään vasta paljon myöhemmin. Salaman isku on yksi näkyvimmistä staattisen sähkön ilmiöistä. Ihminen voi myös toimia varauksen kuljettajana, mikä ilmenee helposti esimerkiksi auton ovea koskettamalla, jolloin varaus purkautuu maahan. Kuivissa olosuhteissa ihmiskehosta on mitattu jopa 35 000 voltin jännitteitä. (Viheriäkoski 2001, 9.)

Staattista sähköä syntyy, kun kaksi eri materiaalia olevaa kappaletta hankaa tai koskettaa toisiaan. Staattisesta sähköstä käytetään myös nimitystä hankaussähkö, joka kuvaa hyvin staattisen sähkön syntymistapaa. Staattinen sähkö viittaa kappaleessa paikallaan olevaan sähkövaraukseen. Taulukossa 1 on listattu käytännön olosuhteissa mitattuja potentiaaleja suhteellisen kosteuden (RH, Relative Humidity) kahdella eri arvoalueella. Tästä voidaan päätellä, että kuivissa olosuhteissa jännitteet voivat nousta hyvinkin korkeiksi. (Viheriäkoski 2001, 12.)

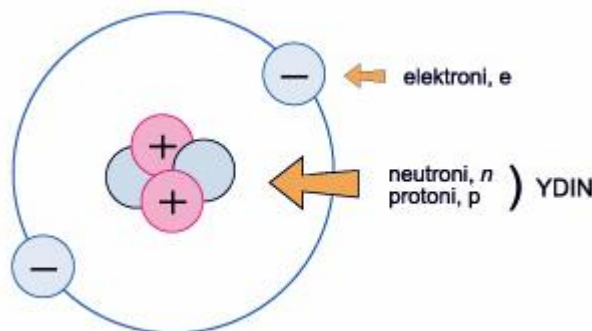
TAULUKKO 1. Käytännön olosuhteissa mitattuja potentiaaleja (Viheriäkoski 2001, 25; Wikipedia 2012)

Varautumistapa	Potentiaali, V RH 10...20%	Potentiaali, V RH 60...90%
Kävely kokolattiamatolla	>20000	>2500
Kävely PVC-pintaisella lattialla	>2000	>600
Nostolavojen siirtäminen PVC-lattialla	>10000	>2000
Työskentely työtasolla	>6000	>100
Polyuretaanipehmusteiselta tuolilta nouseminen	>5000	>1000
Kuplamuovin erottaminen rullasta	>20000	>3000
Eristävän teipin erottaminen rullasta	>15000	>2500
Kävely johtavilla jalkineilla varausta purkavalla lattialla	<50	<5

## 2.1 Sähkövaraus

Kaikki materiaalit muodostuvat atomeista. Atomit puolestaan koostuvat protoneista, neutroneista ja elektroneista. Atomin ydin muodostuu protoneista ja neutroneista, elektronit kiertävät ytimen ympärillä. Protoneilla on positiivinen sähkövaraus, elektroneilla negatiivinen ja neutronit ovat varauksettomia. Atomi on sähköisesti neutraali, kun siinä on yhtä paljon protoneja ja elektroneja. (Viheriäkoski 2001, 12.)

Liike synnyttää staattista sähkövarausta. Kun kappaleita hangataan, liitetään tai erotetaan toisistaan aiheuttaa, se alkeishiukkasten liikettä ja atomien järjestyksen muutosta. Luovuttaessaan elektroneja varaukseltaan neutraali atomi saa positiivisen varauksen, kun taas atomin saadessa ylimääräisiä elektroneja se varautuu negatiivisesti. Kuviossa yksi on kuvaus atomin varauksesta. (Viheriäkoski 2001, 13.)



KUVIO 1. Atomin varaus (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 2013).

Kahden eri materiaalia olevan kappaleen yhteen hankaamisella voidaan todentaa materiaalien keskinäinen varautumisherkkyys ja polarisoituminen. Kuviossa kaksi on esitettyä materiaaleja, jotka on luokiteltu järjestykseen varautumisominaisuuden perusteella. Tätä kutsutaan triboelektriseksi sarjaksi. Mitä kauempana sarjassa olevat materiaalit sijaitsevat toisistaan, sitä voimakkaammin ne varautuvat liikkeen seurauksena. (Viheriäkoski 2001, 14.)





KUVIO 2. Triboelektrinen sarja (Viheriäkoski 2001, 14)

## 2.2 Varauksen siirtyminen

Sähkövarauksen siirtymiseen vaikuttavat materiaalin ja ympäristön sähkönjohtavuus sekä permittiivisyys. Purkautumisreitti ei välttämättä ole lyhin mahdollinen materiaalin epäpuhtauksien vuoksi. Fyysinen liike aiheuttaa aina triboelektristä varautumista ja liikkeen nopeudella on suora vaikutus syntyvien varausten voimakkuuteen. (Viheriäkoski 2001, 22-23.)

### 2.2.1 Kosketusvarautuminen

Kappaleiden koskettaessa toisiaan johtavien materiaalien varaukset siirtyvät hyvin nopeasti toisiinsa staattisen sähköön purkauksena. Materiaalista toiseen siirtyvään

varaukseen vaikuttaa materiaalien resistanssi, kapasitanssi sekä varauksen määrä ennen kytkentää. (Viheriäkoski 2001, 23.)

### 2.2.2 Indusoituminen

Sähköisesti varauksettoman kappaleen joutuessa varautuneen kappaleen sähkökenttään se vetää puoleensa vastakkaismerkkistä varausta ja polarisoituu. Tätä kutsutaan sähköstaattiseksi induktioksi. Varauksen siirtymiseen ei tarvita kappaleiden välitöntä kosketusta. (Viheriäkoski 2001, 23.)

### 2.2.3 Ionisoituminen

Ionilla tarkoitetaan atomia, josta on poistunut yksi tai useampi elektroni. Sähkö voi edetä kaasuissa ionin ja ionisoitumisessa vapautuneiden elektronien avulla. Tätä tapahtuu voimakkaan sähkökentän, lämmön ja säteilyn vaikutuksesta. (Viheriäkoski 2011, 23.)

### 3 STAATTISEN SÄHKÖVARAUKSEN PURKAUTUMINEN

Staattisen sähkövarauksen purkautuminen (ESD, Electrostatic discharge) on tapahtuma, jossa varautunut kappale purkaa varauksensa äkillisesti maahan tai toiseen kappaleeseen. Purkaus tapahtuu yleensä toisen kappaleen maakapasitanssin välityksellä tai maadoituksen kautta suoraan maahan. (Lapteenrannan teknillinen yliopisto 2013.)

#### 3.1 Purkausk mekanismit

Sähköstaattinen varaus voi purkautua monella eri tavalla, näitä ovat mm. kipinä-, korona- ja huiskupurkaus. Purkauskmekanismiin vaikuttavat elektrodeina toimivien kappaleiden muoto ja sähkönjohtavuus sekä kertyneen varauksen suuruus. Kipinäpurkaus tapahtuu kahden eri potentiaalissa olevan kappaleen välillä. Purkauksessa varauksen aiheuttama jännite ylittää ilman läpilyöntilujuuden. Kipinäpurkaus on erittäin vaarallinen purkausmuoto, koska kaikki kappaleeseen varastoitunut energia vapautuu kerralla. Koronapurkaus tapahtuu maadoitetun terävämuotoisen johdekappaleen kärjestä kohti voimakkaasti varautunutta kohdetta. Purkaus aiheutuu terävässä kärjessä olevasta sähkökentästä. Vapautunut energiamäärä jää kipinäpurkausta matalammaksi. Huiskupurkauksessa muodoltaan pyöreä johdekappale lähestyy varautunutta johtamatonta kappaletta. Purkauksella ei ole yhtenäistä purkauskanavaa, vaan se hajoaa erillisiksi haaroiksi ja vain osa varastoituneesta energiasta vapautuu. (VTT 2005.)

#### 3.2 Purkauskmallit

ESD-purkauskmekanismeja on useita, ja niitä pyritään selventämään erilaisten purkauskmallien avulla.

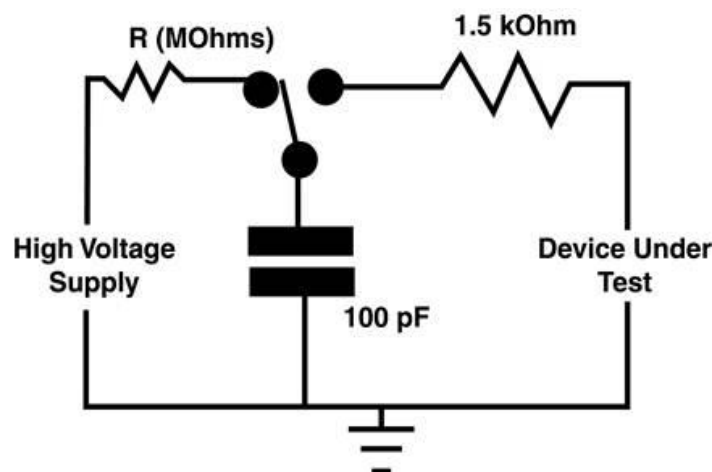
##### 3.2.1 HBM-malli

Sähköisesti varautuneen henkilön koskettaessa maadoitettuun johteeseen, varaus purkautuu nopeasti. ESD-purkauksien havaitseminen on usein mahdotonta, vaikka niitä tapahtuu jatkuvasti. Purkausten havaitsemiseen vaikuttaa aistien yksilöllisyys

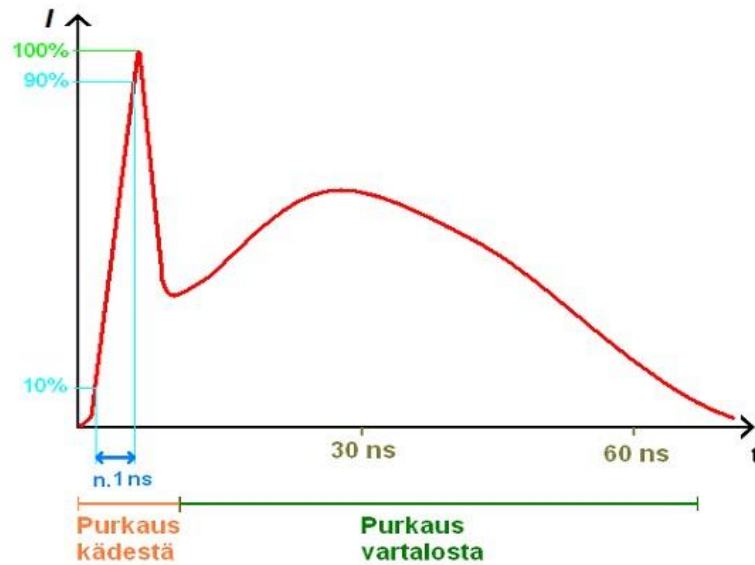
ja ympäristöolosuhteet. Potentiaalinen vaikutus ihmisen herkkyyteen havaita ESD-purkaus on tuntoaistilla yli 3000 V ja kuuloaistilla yli 4000 V. (Viheriäkoski 2001, 26.)

ESD-purkauksessa virran voimakkuus kasvaa räjähdysmäisesti ja tehopiikit voivat nousta hetkellisesti hyvinkin suuriksi. Energiamäärän jäädessä hyvin pieneksi terveelle ihmiselle tästä ei tiettävästi ole vaaraa. Energiaan vaikuttavat varauksen voimakkuus, kapasitanssi, sarjaresistanssi ja hajakapasitanssit. (Viheriäkoski 2001, 26.)

HBM-malli (Human Body Model) simuloi ihmiskehoa sähköisellä mallilla. HBM-malli on yksi vanhimmista ja yleisimmin käytetyistä testausmenetelmistä, jolla testataan laitteen ESD-herkkyyttä. Kuviossa kolme on esitettyä tyypillisiä sijaiskytkentä, jossa käytetään 100 pF:n kondensaattoria ja 1,5 kΩ:n sarjavastusta (vastaa ihmiskehon resistanssia). Lähdejännite säädetään korkeaksi noin 1000 volttiin. Kuviossa neljä on esitetty tyypillinen purkaus ihmiskehosta. Alun perin tämä menetelmä oli kehitetty miinojen kaasuräjähdyksen tutkintaan. (ESD association 2012.)



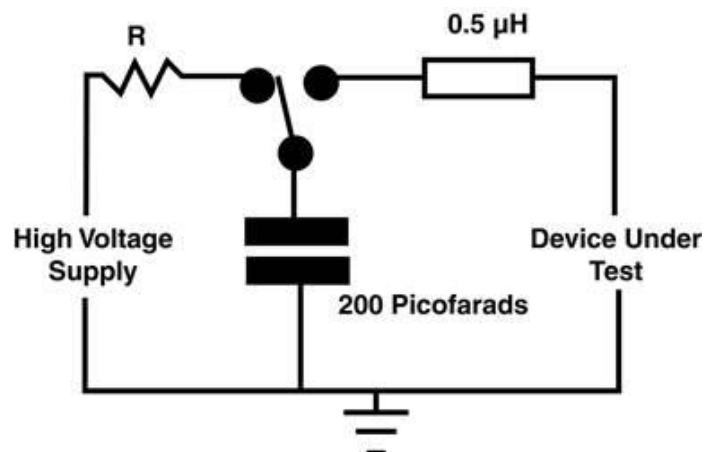
KUVIO 3. Human Body Model–sijaiskytkentä (ESD association 2012)



KUVIO 4. Tyypillinen HMB-purkaus ihmiskehosta (H. Honkanen 2013)

### 3.2.2 MM-sijaiskytkentä

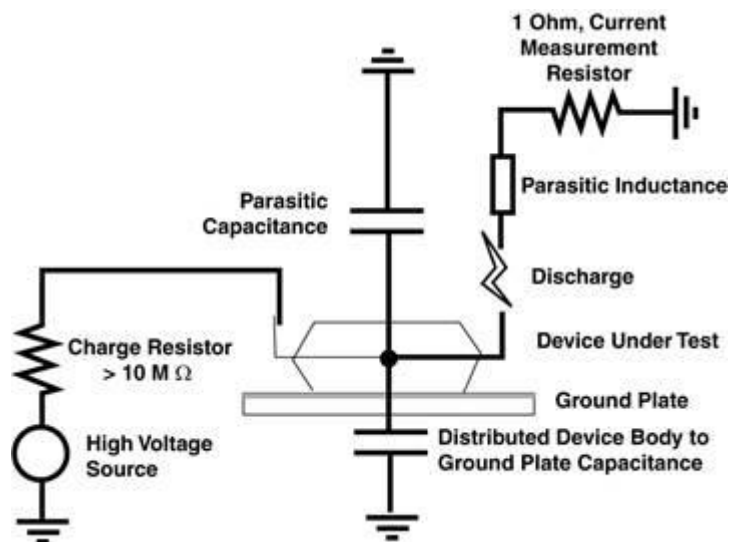
HMB-mallia huomattavasti vaarallisempia ja vakavampia ESD-purkauksia saattaa esiintyä varautuneissa johtavissa kohteissa. Tällaisiin tapauksiin, kuten metallisiin työkaluihin, telineisiin tai automaattisiin laitteisiin, on sovellettu MM-sijaiskytkentää. Kuvion viisi sijaiskytkentää käytetään komponenttien herkkyyden testaamiseen. Kytkennässä on 200 pF:n kondensaattori ilman sarjavastusta, jolloin purkaus kohdistuu suoraan testattavaan laiteeseen. (ESD association 2012.)



KUVIO 5. Machine Model-sijaiskytkentä (ESD association 2012)

### 3.2.3 CDM-malli

Kuviossa kuusi on esitetty CDM-malli (Charged Device Model), jolla simuloidaan varautuneen laitteen ja maadoituskontaktin välillä tapahtuvaa ESD-purkausta. Laite voi varautua esimerkiksi liukumalla alas automaattisen kokoonpanolaitteen syöttölaitteesta. Tämän jälkeen varautuneen laitteen osuessa johonkin johtavaan pintaan, joka on alhaisemmassa potentiaalissa kuin varautunut laite tapahtuu nopea ESD-purkaus. Purkauksen kesto on usein vähemmän kuin yksi nanosekunti, mutta virta voi nousta useisiin kymmeniin ampeereihin. Tietynlaisille laitteille CDM voi olla tuhoisampi kuin HBM. (ESD association 2012.)



KUVIO 6. Charged Device Model-sijaiskytkentä (ESD association 2012).

#### 4 KOMPONENTTIEN TYYPILLISIMMÄT VIKAANTUMISMEKANISMIT

Komponenttien pienentyessä niiden ESD-herkkyys kasvaa. Pienen koon vuoksi yksittäisten komponenttien suojauksen tekeminen on osoittautunut niin hankalaksi, että siitä on saatettu luopua kokonaan. Ladontakoneet latovat komponentit ja erilliset suojakomponentit piirilevylle. Piirilevy kokonaisuudessaan muodostaa tarvittavan ESD-suojauksen osalle tai tuotteelle. (Preciamaking 2010.)

Sähköstaattinen purkaus voi aiheuttaa komponenteille monenlaisia vaurioita, mm. toimintakyvyn heikkenemistä, suoritusarvojen alenemista, tilapäisiä vikatoimintoja tai pahimmassa tapauksessa komponentin rikkoutumisen. Nämä tekijät voivat vaurioittaa jotakin muuta osaa järjestelmässä, jolloin alkuperäistä vianaiheuttajaa on lähes mahdotonta löytää. Purkauksen aiheuttamat vauriot eivät välttämättä tule esille heti, vaan se voi tapahtua hyvinkin pitkän ajan kuluessa. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto.)

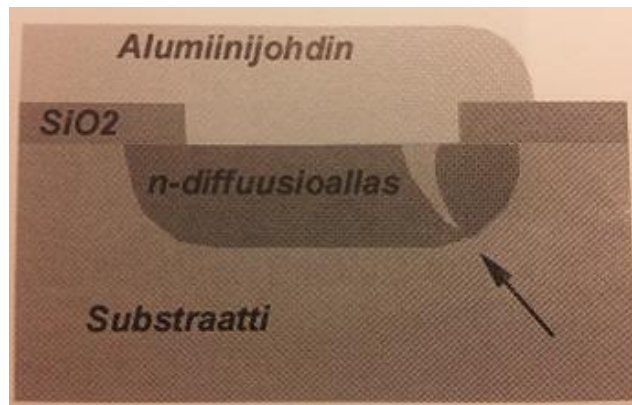
Valmistajat ilmoittavat yleensä yksittäisen komponentin ESD – herkkyys. Useimmiten komponentti kuitenkin vioittuu piirilevylle asennettuna. Taulukossa kaksi on esitetty komponenttien tyypillisimpiä ESD-herkkyksiä. Vanhan myytin mukaan piirilevyn sietokyky sähköstaattisille purkauksille on sama kuin piirilevyn herkimmän komponentin ESD–herkkyys. Nykytutkimuksissa tämä myytti on kuitenkin kumottu ja komponentti voi tietyissä tilanteissa olla herkempi piirilevylle asennettuna kuin irrallaan. (TEKES 2003.)

TAULUKKO 2. Komponenttien tyypillisimmät ESD-herkkydet (VTT 2005)

Device type	HBM sensivity (V)
FET	10 - 100
MOSFETs, diodes	100 - 300
MMIC	100 - 2000
HCMOS	1500 - 3000
CMOS	2000 - 5000
Linear MOS	800 - 4000
Bibolar	600 - 8000
Power Mosfet	100 - 300
Power bibolar	7000 - 25000
Film resistor	1000 - 5000

#### 4.1 Lämpilyönti substraatin kautta (Bulk breakdown)

Kuviossa seitsemän on esitetty lämpilyönti, joka aiheuttaa parametrimuutoksia lämpötilan kasvaessa suuren virrantiheyden vuoksi. Lämpilyönnistä johtuen puolijohdemateriaali lejeeroituu ja metalli seostuu diffuusioalueeseen tai päinvastoin. (Viheriäkoski 2001, 35.)

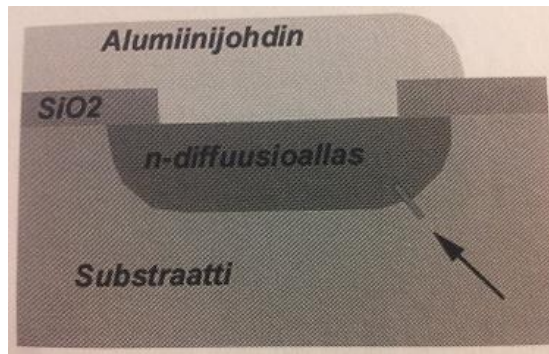


KUVIO 7. Bulk breakdown (Viheriäkoski 2001.)

#### 4.2 Lämpilyönti suuren virrantiheyden ja lämpötilan vuoksi (Thermal secondary breakdown)

Lämpilyönti kuviossa kahdeksan syntyy PN-liitokseen suuren jännitteen vaikutuksesta. Pulssin suuren virrantiheyden vaikutuksesta lämpötila nousee voimakkaasti lämpilyöntikohdassa. PN-liitokseen syntyy resistiivistä vuotoa, koska suuresta nopeudesta johtuen lämpö ei ehdi siirtyä laajemmalle piiriin. (Viheriäkoski 2001, 35.)





KUVIO 8. Thermal secondary breakdown (Viheriäkoski 2001)

#### 4.3 Pintaläpilyönti ja läpilyönti eristeessä

Pintaläpilyönti tapahtuu usein liukupurkauksena, jossa metalli siirtyy höyrystymällä lähekkäin olevien metallien tai johteiden välillä aiheuttaen vuotovirran kasvua tai oikosulkuja. Ylijännitteestä aiheutuva läpilyönti eristeessä voi sulattaa oksideina toimivia materiaaleja, mikä aiheuttaa resistiivistä vuotoa tai oikosulkuja. (Viheriäkoski 2001, 36.)

## 5 ESD-SUOJAUS

Elektroniikkateollisuuden ESD-suojausmenetelmiä ja toimenpideohjeita on esitetty kansainvälisissä julkaisuissa sekä standardeissa ja suosituksissa.

### 5.1 Staattisilta sähköpurkauksilta suojattu alue (EPA)

EPA:lla (ESD Protected Area) tarkoitetaan staattisilta sähköpurkauksilta suojattua aluetta. Alueen tarkoituksena on suojata ESD-herkkiä komponentteja vaurioitumiselta. Alueella käytetään ESD-suojaukseen tarkoitettuja kalusteita ja materiaaleja. EPA-alueelle sopimattomat materiaalit synnyttävät työtasolle ja materiaalien pinnoille haitallisia sähköstaattisia varauksia. Suojaustaso määritellään niin, ettei alueella saa esiintyä yli 100 V:n staattisen sähköön potentiaaleja tai yli 10 kV/m sähkökentän voimakkuuksia. Piirilevyn tai herkän komponentin joutuessa varautuneelle pinnalle tapahtuu hallitsematon sähköstaattinen purkaus, joka voi vaurioittaa komponentteja. Tavallisimpia EPA-alueita ovat tavaran vastaanotto, varasto, valmistus, testaus, laboratorio ja huoltopiste. (Preciamaking 2010.)

EPA-alueet merkitään selkeästi ja erottuvasti taululla, joka on esitetty kuviossa yhdeksän, ja tarpeen mukaan lisäksi esim. teipeillä kuten kuviossa 10. EPA-alueen päättymisestä ilmoitetaan kuviossa 11 olevalla taululla.



KUVIO 9. EPA-alueen merkintätaulu (Perel 2013)



KUVIO 10. EPA-alueen merkintäteippi (Perel 2013)



KUVIO 11. EPA-alueen päättymisestä ilmoittava taulu (Perel 2013)

#### 5.1.1 EPA–maadoitus

EPA-alueella sijaitsevat työpisteet maadoitetaan samaan maadoituspotentiaaliin, ESD-maahan. Lisäksi lattiat, työtuolit, työtasot ja työntekijät kytkeytyvät samaan maadoituspotentiaaliin. EPA-alueella muodostuvat staattiset sähkövaraukset purkautuvat hallitusti maapotentiaalia vasten synnyttäen potentiaalitasapainon. Kuviossa 12 on pelkistetty esimerkki EPA-alueella sijaitsevasta työpisteestä. (Preciamaking 2010.)



KUVIO 12. EPA-alueella sijaitseva työpiste (Perel 2013)

Oikein toteutetulla EPA-maadoitusverkolla vältetään nopeiden potentiaalimuutoksien syntyminen. Kiinteistön sähkökeskuksessa olevasta potentiaalintasauskiskosta haaroitetaan johdot työpisteiden pöytärasioille. Pöytärasialta kytkeydytään työpisteen runkoon ja ESD-pöytämattoihin. Pöytärasioihin kytketään tarvittavat rannekeliityntärasiat. Maadoitusverkon resistanssin on oltava alle  $2 \Omega$ . Potentiaaliskot ja pöytärasiat on hyvä numeroida myöhemmin tehtäviä seurantamittauksia varten. (Preciamaking 2010.)

### 5.1.2 Lattiapinnat

Ensisijaisena staattisen sähkövarauksen synnyttäjänä pidetään yleensä ihmisten ja materiaalien liikettä ympäristössä. Kenkien kosketus lattiaan ja erkaantuminen siitä voi synnyttää useiden tuhansien volttien varauksen. Lattia voidaan toteuttaa usealla eri menetelmällä: irtomatoilla, maalaamalla tai kiinteällä lattiamaton asennuksella. Irtomatoilla voidaan toteuttaa helposti pienimuotoiset ESD-alueet. Maalaus ja kiinteä lattiamaton asennus sopivat hyvin suurempiin suojattaviin alueisiin. Lattiapinnoitteella työskentelevän henkilön tulee käyttää sopivia jalkineita, näin ollen saavutetaan kohtalaisen hyvä sähköä johtava reitti ihmiskehosta maahan. (SFS Käsikirja 2010, 70-71.)

### 5.1.3 Tuolit, työskentelypinnat ja varastointi

Tuolin liike tai tuolilla istuva henkilö voi synnyttää hyvinkin suuria jännitteitä. EPA-alueella suositellaan käytettäväksi johtavilla pyörillä varustettuja tuoleja, joissa ei ole eristäviä osia. Tuoli on esitetty kuviossa 13. Tuolia ei voida kuitenkaan käyttää ainoa maadoitusreittinä ihmisen ja suojaamaan välillä. Sillä voidaan kuitenkin vähentää staattisten sähkövarausten syntymistä. (SFS Käsikirja 2010, 75-76.)



KUVIO 13. ESD-suojattu työtuoli (Perel 2013)

Työskentelypinta on yksi tärkeimmistä osa-alueista EPA-alueen suunnittelussa ja toteutuksessa. Alueilla, joilla käsitellään ESD-herkkiä osia, tarvitaan jonkinlainen sähköstaattisten varausten purkamiseen suunniteltu työskentelypinta. Kuviossa 14 on esitetty esimerkki pöydästä, jota voidaan käyttää edellä mainittuun tarkoitukseen. Pöydän oikeanlaisella maadoituksella varmistetaan, että ESD-herkät osat ja työympäristö ovat samassa potentiaalissa. Tällä mahdollistetaan, että työskentelypinnalla olevien eristämättömien osien sähköiset varaukset voidaan purkaa hallitusti. (SFS Käsikirja 2010, 63.)

Työskentelypinnan tyyppi määräytyy usein tehtävän työn laadun mukaan. Pöydille voidaan asentaa erillisiä suojamattoja suojaamaan pöytäpintaa ja mekaanisille iskuille herkkiä osia. Kuviossa 15 on esitettynä ESD-suojauksia

parantava pöytämatto, joka maadoitetaan pöydän kanssa samaan maapotentiaaliin. (SFS Käsikirja 2010, 64.)



KUVIO 14. ESD-suojattu pöytä (Perel 2013)



KUVIO 15. ESD-pöytämatto maadoitusjohdolla (Elektroniikkamaailma 2013)

Varastointia ja säilytystä varten on olemassa erilaisia hyllyköitä ja vaunuja, jotka valitaan kulloisenkin käyttötarpeen mukaan. Jos hyllyjärjestelmässä säilytetään pakkaamattomia ESD-herkkiä osia, tulee hyllyköt maadoittaa kunnolla. ESD-herkät osat voidaan pakata säilytystä varten ESD-suojapakkauksiin, jolloin hyllyt voidaan rakentaa suojaamattomista materiaaleista. Kuviossa 16 on esitetty esimerkki hyllystä, joka voidaan maadoittaa suoraan ESD-maahan. (SFS Käsikirja 2010, 89.)



KUVIO 16. ESD-suojattu hylly (Perel 2013)

#### 5.1.4 Pakkausmateriaalit

Erilaisia ESD-suojattuja pakkausmateriaaleja on paljon. On erityisen tärkeää kiinnittää huomiota seikkoihin, jotka vaikuttavat oikeanlaisen materiaalin valitsemiseen. Näitä ovat mm. tuotteen herkkyys ja jakeluympäristö. Kuvioissa 17 ja 18 on esitetty esimerkit erilaisista pakkausmateriaaleista. (SFS Käsikirja 2010, 91.)



KUVIO 17. Metalloitu ESD-suojapussi (Perel 2013)



KUVIO 18. ESD-suojattu kuplamuovi (Perel 2013)

#### 5.1.5 Henkilösuojaus

Henkilösuojaus on tärkein tekijä hyvän ESD-suojauksen aikaansaamiseksi. Ihmisten liikkuminen, erityisesti kenkien ja lattian välinen vuorovaikutus, synnyttää varauksia, jotka voivat nostaa ihmisen kehon jännitteen useiden tuhansien volttien suuruuteen. Yksi tapa on maadoittaa henkilö kenkien kautta ESD-lattiapinnoitteeseen. Järjestelmän kokonaisresistanssin tulisi olla alle  $35 \text{ M}\Omega$ , jotta henkilön kehon jännite pysyisi alle  $100 \text{ V}$ :ssa. Jalkineiksi tulisi valita ESD-hallintaan suunnitellut kengät. Kuviossa 18 on esitetty kenkä, joka soveltuu edellä mainittuun tarkoitukseen. Tästä kertoo useimmiten keltainen ESD-merkintä. (SFS Käsikirja 2010, 74.)



KUVIO 18 . ESD-kenkä (Tamrex 2013 )



Kuviossa 19 on esitettyä rannekejärjestelmä, joka on toinen hyvä tapa henkilömaadoituksen tekemiseen. Rannekejärjestelmä koostuu kolmesta osasta: henkilöstä, rannehihnasta ja maadoitusjohdosta. Rannehihnan tulee koskettaa johtavan pinnan avulla ihoa täydet 360°. Maadoitusjohdon avulla rannehihna kytketään ESD-maahan. Tällä varmistetaan henkilön pysyminen samassa potentiaalissa ESD-herkkien osien kanssa. (SFS Käsikirja 2010, 66.)



KUVIO 19. Rannekejärjestelmä (TME 2013).

ESD-vaatetuksen käytön tarpeellisuuden arviointi on usein vaikeaa, ja useimmiten se jääkin ESD-koordinaattorin harkittavaksi. Päätökseen vaikuttavat mm. käsiteltävien komponenttien ESD-sietoisuus, kustannukset, puhdastilavaatimukset ja työskentelytilan ilmasto. Tähän tarkoitukseen on olemassa puolijohtavasta materiaalista valmistettu takki tai paita, joka on esitetty kuviossa 20. (SFS Käsikirja 2010, 86.)



KUVIO 20. ESD-vaatetus (Perel 2013)

### 5.1.6 Työkalut ja toimistotarvikkeet

Kuviossa 21 on esitelty työkalut, jotka on suunniteltu käytettäväksi EPA-alueella. Työkalut ovat sähköisiltä ominaisuuksiltaan joko varausta poistavia, johtavia tai heikosti varautuvia. Juottimien ja juotinasemien kärjet maadoitetaan ESD-maahan. Juottimien maadoitusresistanssi mitataan valmistajan ohjeiden mukaisesti. Toimistotarvikkeiden, kuten kansioiden ja dokumenttitaskujen, tulee myös olla EPA-alueelle soveltuvia. (Viheriäkoski 2001, 43-44.)



KUVIO 21. EPA-alueella käytettävät työkalut (Elfa Distrelec 2013)

### 5.1.7 Mittaukset ja testaus

EPA-alueella tehtävillä tarkistusmittauksilla varmistetaan haluttujen olosuhteiden pysyvyys ja suojauksen toimivuus. Yleensä seurantamittaukset sisältävät EPA-alueen työskentelypintojen ja lattiapinnoitteen mittauksia. Tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan ja havaituista poikkeamista ilmoitetaan ESD-tiloista vastaavalle henkilölle. (Preciamaking 2010.)

Lattiapinnoitteen toimivuus varmistetaan määräajoin tehtävillä mittauksilla. Maadoitusresistanssimittauksilla tarkistetaan, että maadoitusreitti on vahingoittumaton. Testauksen tulee toimia 1 k $\Omega$ :n ja 10 G $\Omega$ :n välisillä arvoilla. Testausjännite ei saa ylittää 100 V:n jännitettä. Silmämääräisesti voidaan tarkistaa, että lattiamateriaalin maakytkentä on kunnossa. Lattian oikeanlaisella

hoidolla ja puhtaanapidolla edistetään lattian resistanssin pysymistä sallittujen raja-arvojen sisällä. (SFS Käsikirja 2010, 73.)

Rannekkeet ja jalkineet tulee testata aina ennen kuin aloitetaan työskentely EPA-alueella. Rannekkeiden ja jalkineiden testausta varten on olemassa omat siihen tarkoitukseen suunnitellut testilaitteet, joilla testaus sujuu vaivattomasti ja nopeasti. Testauksessa voidaan käyttää erillisiä testauslaitteita rannekeille ja jalkineille tai kuviossa 22 esiteltyä yhdistettyä ranneke-jalkine-testeriä. (Preciamaking 2010.)



KUVIO 22. Yhdistetty ranneke-jalkine-testeri (Perel 2013)

## 6 ESD-HALLINTAOHJELMA

ESD-hallintaohjelma on teknisten standardien mukaan toteutettu ohjelma, jolla vähennetään staattisen sähköpurkauksen aiheuttamia vaurioita laitteille, joiden ESD-herkkyys on yhtä suuri tai suurempi kuin 100 V (HMB). ESD-herkkyys määritetään IEC 60749–26 -standardissa. Organisaation tulee toteuttaa hallintaohjelmaa ja varmistaa, että standardissa asetetut vaatimukset täyttyvät. (SFS käsikirja 2010, 27.)

Hallintaohjelmaa laadittaessa tulisi huomioida mm. seuraavia asioita:

- Valitaan työpaikalle ESD-koordinaattori.
- Arvioidaan alueet joilla käsitellään ESD-herkkiä komponentteja.
- Suojamaattomille komponenteille perustetaan EPA-alue.
- Varmistetaan EPA-alueen yhteisen maapotentiaalin toimivuus.
- Valitaan henkilöille sopivat maadoitustavat, joko rannekkeella tai lattiapinnoite-jalkine järjestelmällä.
- Käytetään EPA-alueelle sopivia materiaaleja.
- Asetetaan tarvittavat opastusmerkinnät.
- Suojataan ESD-herkät komponentit.
- Kirjataan prosessien erityisvaatimukset hallintaohjelmaan.
- Laaditaan työntekijöiden koulutussuunnitelma.
- Tehdään tarvittavat suojaustoimenpiteet kustannustehokkaasti.
- Laaditaan suunnitelma valvontaa varten.
- Pidetään hallintaohjelma ajan tasalla.
- Sovitetaan laadunvalvontajärjestelmä ja ESD-hallintaohjelma yhteen.
- Tehdään tarvittavat raportoinnit. (Preciamaking 2010.)

Standardin vaatimukset eivät välttämättä päde kaikkiin käyttötarkoituksiin, jolloin siitä voidaan poiketa. Jokaisen vaatimuksen soveltuvuutta käyttötarkoitukseen arvioidaan erikseen. Arvioinnin jälkeen vaatimuksia voidaan lisätä, muokata tai poistaa kokonaan. Poikkeavuudet ja tekniset perustelut dokumentoidaan hallintaohjelmaan. (SFS käsikirja 2010, 27.)

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa kohdeyrityksen senhetkinen ESD-suojauksen tila ja tehdä siihen tarvittavia parannusehdotuksia. Aihe oli itseäni kiinnostava, ja sitä oli mukava tehdä. Alkuun pääseminen oli hieman hankalaa, koska aihetta oli koulussa käsitelty vain pintapuolisesti. Ihan ruohonjuuritasolta ei kuitenkaan tarvinnut lähteä, koska itselläni oli kuitenkin jonkinlainen käsitys siitä, mitä aihe pitäisi sisällään. Hyvien lähteiden etsimiseen kului paljon aikaa, koska useimmilla internetsivuilla oli vain ESD-tuotteita valmistavien yritysten mainoksia. Tietoa joutui etsimään useasta eri lähteestä. Kirjallisuutta aiheesta ei juuri ollut saatavilla.

Opin paljon uutta staattisesta sähkövarauksesta ja sen elektroniikalle aiheuttamista haitoista. ESD-herkkien komponenttien suojakseen liittyvät toimenpiteet ja eri henkilösuojaukseen käytettävät välineet tulivat tutuiksi.

Toiminnallisen työn arviointi poistettu salassapidon vuoksi.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

SFS-käsikirja. 2010. ESD – Staattisen sähkö hallinta elektroniikkateollisuudessa. Suomen standardisoimisliitto SFS RY. Helsinki: SFS.

Viheriäkoski, T. 2001. ESD Staattinen sähkö elektroniikassa. Helsinki: Oy Edita Ab.

### Elektroniset lähteet

Elfa Distrelec. 2013. ESD-ammattilaissarja [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: [https://www.elfaelektroniikka.fi/elfa3~fi\\_fi/elfa/init.do?item=80-501-58](https://www.elfaelektroniikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=80-501-58)

Electronic components. 2013. Antistaattiset rannekkeet [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa: [http://www.tme.eu/fi/katalog/antistaattiset-rannekkeet\\_112756/](http://www.tme.eu/fi/katalog/antistaattiset-rannekkeet_112756/)

Elektroniikkamaailma. 2013. ESD pöytämatto maadoitusjohdolla [viitattu 23.9.2013]. Saatavissa: <http://www.elektroniikkamaailma.fi/tuote/esd-p%C3%B6yt%C3%A4matto-maadoitusjohdolla/AS4/>

ESD association. 2012. ESD fundamentals [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: <http://www.esda.org/fundamentalsP5.html>

Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. 2013. Sähkövaraus syntyy hankaamalla [viitattu 21.8.2013]. Saatavissa: [http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/sahko/1\\_varaus.htm](http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/sahko/1_varaus.htm)

Honkanen H. 2013. ESD-suojaus [viitattu 7.10.2013]. Saatavissa: [gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs\\_ESD.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_ESD.pdf)

Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2013. Staattisen sähkö purkaus (ESD) [viitattu 11.9.2013]. Saatavissa: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl50a0200/.../esd-luentosatsi.pdf>

Perel. 2013. Verkkokauppa ESD-tuotteet [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa:  
<https://verkkokauppa.perel.fi/cgi-bin/perelshop.wsc/index.htm?component=frontpage>

Preciamaking. 2010. ESD/EPA [viitattu 11.9.2013]. Saatavissa:  
<http://www.preciamaking.com/9>

Tamrex. 2013. Guttorm turvakengät. [viitattu 1.10.2013]. Saatavissa:  
<http://www.tamrex.fi/shop/tuote/cofra-guttorm-turvakengat-slp-src-esd-1335>

TEKES. 2003. Staattisen sähkön hallinta. STAHA-teknologiaohjelma 1999-2002 [viitattu 11.9.2013]. Saatavissa:  
[www.tekes.fi/fi/document/43313/staha\\_loppuraportti\\_pdf](http://www.tekes.fi/fi/document/43313/staha_loppuraportti_pdf)

Tme. 2013. Antistaattiset rannekkeet [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa:  
<http://www.tme.eu/fi/details/3m-mws61m/antistaattiset-rannekkeet/3m/mws61m/#>

VTT. 2005. Staattisen sähkön vaarojen tunnistaminen ja hallinta prosessiteollisuudessa [viitattu 7.10.2013]. Saatavissa:  
[staha.vtt.fi/koulutusaineisto.ppt](http://staha.vtt.fi/koulutusaineisto.ppt)

Wikipedia. 2012. Hankaussähkö [viitattu 21.8.2013]. Saatavissa:  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Hankauss%C3%A4hk%C3%B6#cite\\_note-1](http://fi.wikipedia.org/wiki/Hankauss%C3%A4hk%C3%B6#cite_note-1)